

УДК 681.2.002

Л.С. Глоба, М.В. Лапа, І.М. Попова

СИНТЕЗ СХЕМ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГНУЧКОМУ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**Вступ**

Дослідження процесу технологічного проектування проводиться з позицій системного підходу, ієрархічних систем прийняття рішень та об'єктно-орієнтованого аналізу. Професор В.Д. Цветков один із перших виконав системні дослідження процесів автоматизованого технологічного проектування [1]. Наступні дослідження зробили Н.М. Капустін, С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов, В.В. Павлов, Ю.М. Соломенцев, А.П. Гавриш та ін. [2–4].

В [4] в результаті послідовної декомпозиції було отримано граф структури складного технологічного об'єкта “технологічний процес” (ТП), вершинами якого є базові структурні елементи об'єкта. Подальша декомпозиція визначається характером задач, які нині розв'язуються (операції, переходи, прийоми). Також у [4] розглянуто комплексну методологію оптимального проектування технологічних процесів у межах скрізного автоматизованого циклу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, яка складається з двох рівнів розгляду проєктувальних процедур: формування оптимальної структури технологічного процесу (структурна оптимізація) і проектування оптимальних параметрів технологічного процесу (параметрична оптимізація). На рівні структурної оптимізації використано графову модель методології оптимального проектування ТП для деталі та математичний апарат алгебри логіки [4].

У [5] розглянуто метод гнучкого проектування технологічних процесів, який дає можливість виконувати багатоваріантне проектування ТП. Там же відображено удосконалення моделі технологічного процесу, моделі деталі-аналога на базі математичного апарату нечітких множин для розширення області пошуку допустимих технічних рішень і об'єктно-орієнтованого підходу при гнучкому проектуванні ТП виготовлення деталей приладів. У процесі багатоваріантного проектування ТП запропоновано використовувати класифікатор поверхонь, особлива риса якого полягає в тому, що він містить

не тільки типові поверхні, але й можливі методи їх обробки.

Проблемою є автоматизоване формування альтернативних схем обробки різних типів поверхонь. Універсального класифікатора поверхонь, який би містив у собі всі можливі набори методів їх обробки на рівні ДСТУ, також нема, а є лише довідкові і статистичні дані в технологічних довідниках та фрагменти класифікаторів на підприємствах. В [4, 6, 7] запропоновано використовувати базу знань для вибору методів обробки поверхонь деталей. Знання про альтернативні схеми обробки можуть бути введені технологом підприємства в діалоговому режимі з використанням довідників і власного досвіду. Однак такий спосіб малоефективний, бо він потребує значних затрат часу, а ще при цьому можливі помилки, суперечливість знань та їх неповнота.

Постановка задачі

Метою статті є: синтез альтернативних схем обробки поверхонь з використанням моделі у вигляді графа послідовності застосування методів обробки кожного типу поверхні із врахуванням якості і шорсткості для автоматизованого формування наборів переходів при гнучкому багатоваріантному проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей; розробка алгоритму і програмного інструментарію для автоматизованого формування матриці суміжності графа з використанням ДСТУ, технологічних довідників, статистичних даних та декларативних знань; автоматизоване формування експертних правил вибору методів обробки поверхонь деталей бази конструкторсько-технологічних знань підприємства.

Формування матриці суміжності графа для подання знань про послідовність застосування методів обробки поверхонь деталей

При розгляді властивостей конструкторсько-технологічних об'єктів (деталей) можна виділити дві групи властивостей: перша група — прості властивості (матеріал тощо), друга група — властивості, які самі є об'єктами (поверхня, метод обробки). На рис. 1 дано визначення структурної моделі конструкторсько-технологічного об'єкта “поверхня” $P = \{p_i\}$, що належить до другої групи властивостей для конструкторсько-технологічного об'єкта “деталь”, і його екземпляри [5].

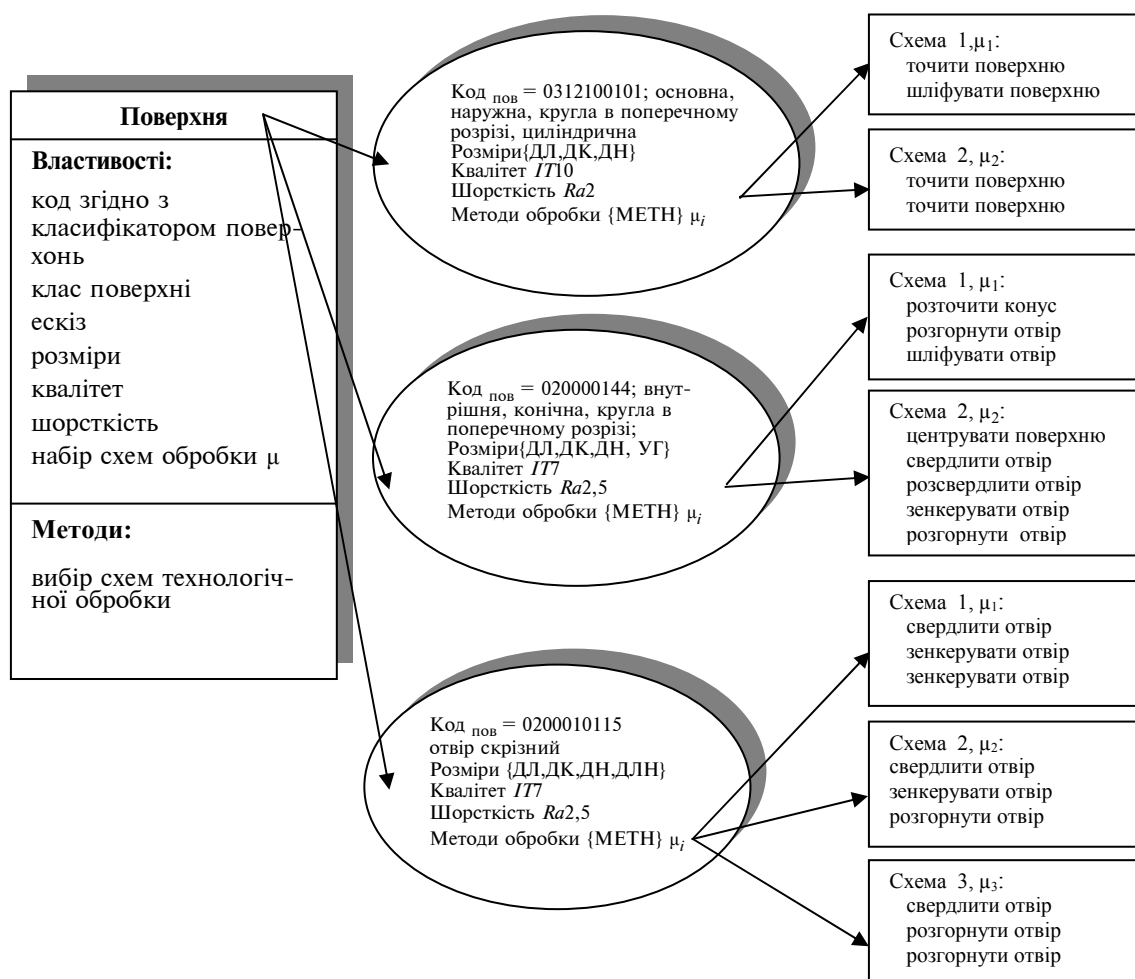


Рис. 1. Конструкторсько-технологічний об'єкт "поверхня" і його екземпляри

Таблиця 1. Квалітет та шорсткість поверхні після обробки

№	Вершина графа	Колір заливки області	Границя	Метод обробки поверхні	Від IT ₁	До IT ₂	Від Ra ₁	До Ra ₂
1	R ₁		==	1	IT ₁₁	IT ₁₂	Ra ₁₁	Ra ₁₂
...	...		==
n	R _n		—	n	IT _{n1}	IT _{n2}	Ra _{n1}	Ra _{n2}

Проблему вибору альтернативних методів обробки поверхні (формування множини {МЕТН}, див. рис. 1) зведемо до задачі станів і пошуку на орієнтованому графі. Вершини $R_1 - R_n$ орієнтованого графа $G(R, E)$ відповідають методам обробки з довідкової табл. 1. Тут E — множина дуг, причому дуга зв'язує вершини R_i і R_j , якщо метод обробки j може бути застосований після методу i . Це можливо, якщо метод обробки R_j дає змогу досягти більш високого класу точності і меншої шорсткості поверхні, ніж метод обробки i . У табл. 1 та на рис. 2 наведено декларативні знання про точ-

ність і шорсткість зовнішніх циліндричних поверхонь після обробки різними методами (джерело — стандарти, довідкова література, [8–11]).

Граф $G(R, E)$ може бути введений технологом у діалоговому режимі здобуття знань (заповнення екранних форм, див. рис. 2) шляхом задання послідовності застосування методів обробки із врахуванням переходів. Однак цей спосіб трудомісткий, можливі помилки і суперечливість знань, неповнота і недостатня компетентність отриманої в такий спосіб бази знань для прийняття рішень при гнучкому багатоваріантному проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей.

Запропонована авторами процедура GenerateGraf на основі алгоритму моделює логіку дій технолога при призначенні методів обробки поверхні і автоматизовано подає знання про послідовність застосування методів обробки у вигляді графа.

Розглянемо алгоритм побудови графа на прикладі зовнішніх циліндричних поверхонь.

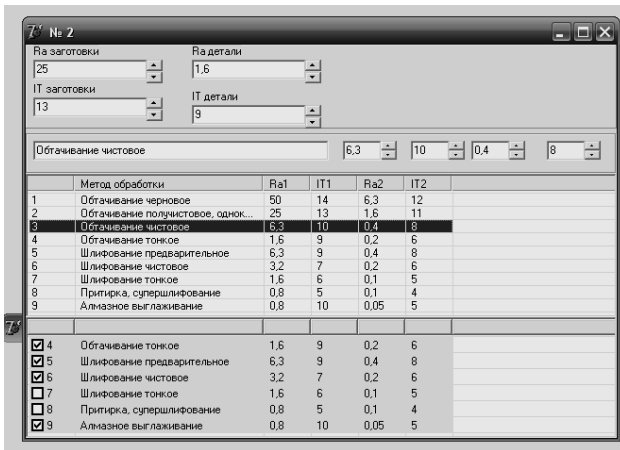


Рис. 2. Квалітет і шорсткість зовнішніх циліндричних поверхонь

Вершинами графа є методи обробки i . Використовуючи дані табл. 1 і рис. 2, кожному методу обробки на рис. 3 поставимо у відповідність область певного кольору і обкреслимо її границею. Кожна прямокутна область на рис. 3 є множиною пар значень квалітету і шорсткості поверхні (IT, Ra) , які можуть бути досягнуті при застосуванні даного методу обробки поверхні деталі. Значення шорсткості і квалітету конкретної деталі визначені положенням знака “д” — •; значення шорсткості і точності для заготовки визначені положенням знака “з” — о. Всі можливі альтернативні методи обробки, що дозволяють досягти задану точність і якість поверхні знаходяться в області лівіше і вище за крапку “д”, правіше і нижче за крапку “з”.

Метод обробки j може бути застосований після методу i (див. табл. 1 і рис. 2), якщо області i, j (множини значень квалітету і шорсткості 1–9 на рис. 3) перетинаються та виконується одна з умов:

- 1) значення квалітету $IT_{i2} \leq IT_{j1}, j > i$, значення шорсткості $Ra_{i2} \leq Ra_{j1}$. Области пере-

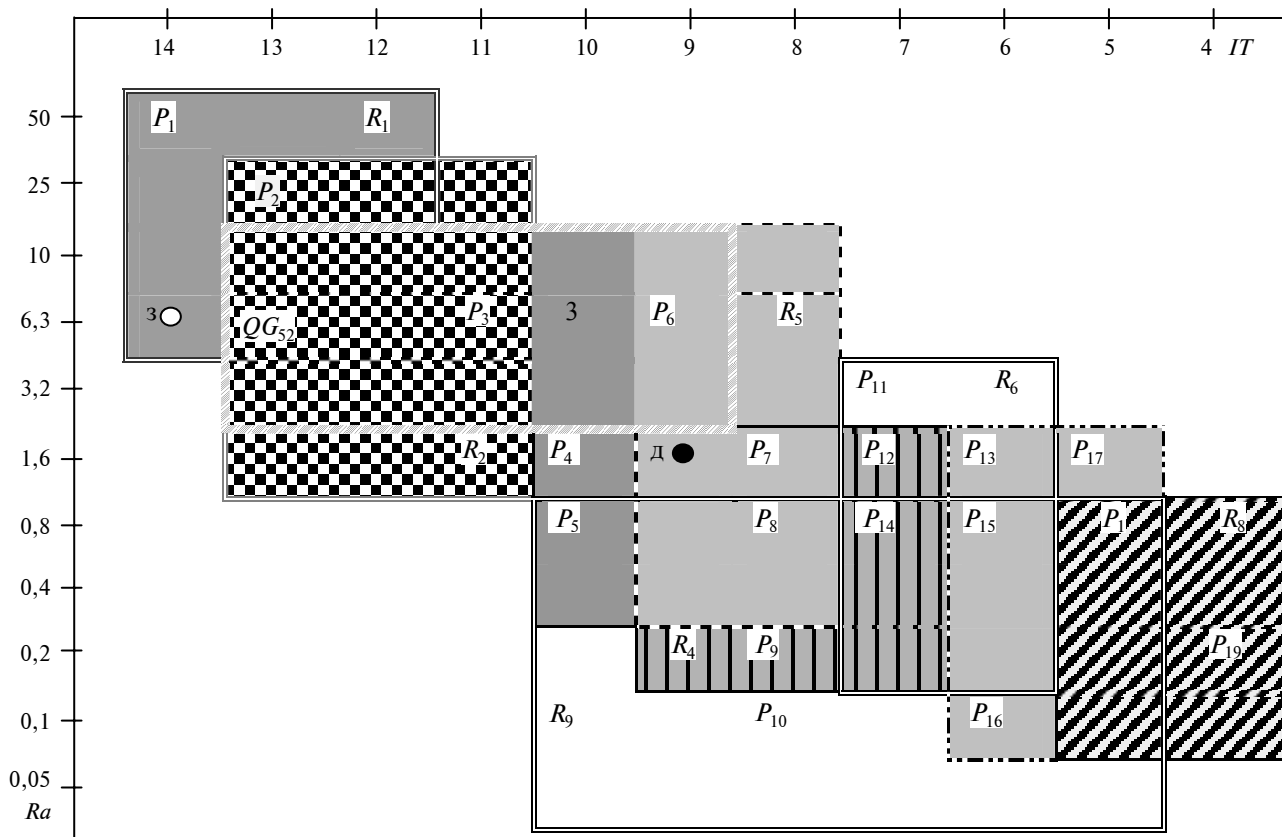


Рис. 3. Графічне подання декларативних знань про методи обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

криваються (рис. 4, а). Процедура SectionTwo повертає результат "TRUE", якщо області перекриваються;

2) значення квалітету $IT_{j1} < IT_{i2}, j > i$, значення шорсткості $Ra_{i2} \leq Ra_{j1}$. Области значень квалітету і шорсткості поверхні для методів обробки поверхні на рис. 3 перетинаються по прямій, паралельній осі координат Ra (рис. 4, б). Процедура SectionOnX повертає результат "TRUE", якщо області перетинаються по прямій, паралельній координатній осі Ra ;

3) значення квалітету $IT_{i2} \leq IT_{j1}, j > i$, значення шорсткості $Ra_{j1} < Ra_{i2}$. Области значень квалітету і шорсткості поверхні на рис. 3 перетинаються по прямій, паралельній осі координат IT (рис. 4, в). Процедура SectionOnY повертає результат "TRUE", якщо області перетинаються по прямій, паралельній координатній осі IT ;

4) значення квалітету $IT_{j1} < IT_{i2}, j > i$, значення шорсткості $Ra_{j1} < Ra_{i2}$. Результатом перетину областей значень квалітету і шорсткості поверхні на рис. 3 є точка (рис. 4, г). Процедура

ра SectionPoint повертає результат "TRUE", якщо області перетинаються в одній точці.

Якщо $R_i \cap R_j \neq \emptyset$ (див. рис. 3) і виконується одна з умов 1–4, то елемент матриці суміжності графа $G(i, j)$ дорівнює 1 (існує дуга від вершини i до вершини j). У всіх інших варіантах розташування областей значень квалітету і шорсткості поверхні на рис. 3 вважається, що метод j обробки не можна застосувати після методу i , елемент матриці суміжності графа $G(i, j)$ дорівнює 0.

У результаті виконання підпрограми GenerateGraf автоматизовано формується матриця суміжності графа послідовності застосування методів обробки. На рис. 5 наведено результати формування матриці суміжності для графа застосування методів обробки зовнішніх циліндричних поверхонь (а) та плоских поверхонь корпусних деталей (б).

На рис. 6 зображено граф, побудований згідно з отриманою матрицею суміжності (див. рис. 5) для зовнішніх циліндричних поверхонь.

Отримані знання про можливість послідовного застосування методів обробки поверхні

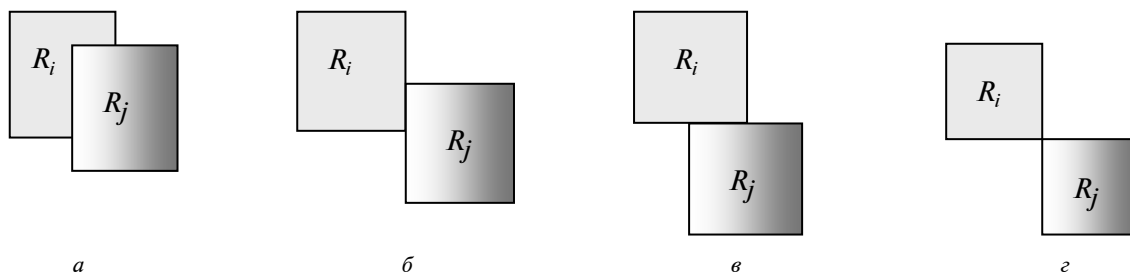


Рис. 4. Варіанти перетину множин значень квалітету та шорсткості поверхні

Таблиця суміжності графа (а):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0	1	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	1	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1

а

Таблиця суміжності графа (б):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

б

Рис. 5. Матриці суміжності графів

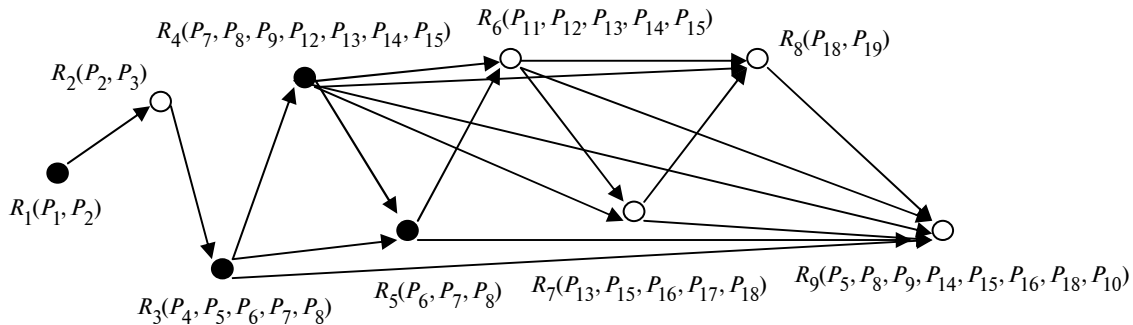


Рис. 6. Граф послідовності застосування методів обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

візуалізуються для надання можливості експерту-технологу фільтрації знань та коректування в діалоговому режимі (див. рис. 2). Такий підхід дає можливість зменшити кількість правил бази знань, які будуть відфільтровані експертом-технологом на заключному етапі формування бази знань підприємства (наприклад, такі, що вміщатимуть схеми обробки поверхні, які неможливо реалізувати з погляду на технологію).

Використання рекурсивного алгоритму пошуку “в глибину” для синтезу альтернативних схем обробки поверхні

Існуючі системи автоматизованого проектування ТП пропонують технологу вибирати план обробки поверхні з бібліотеки сценаріїв або копіювати частини розроблених раніше технологічних процесів (з архіву ТП) в діалоговому режимі. Використовуючи розглянуту вище модель у вигляді графа послідовності застосування методів обробки поверхні, можна автоматизувати процес синтезу альтернативних схем обробки поверхні деталі та занесення їх до бази знань вибору схем обробки поверхонь деталей.

Для кожної пари значень вихідних атрибутів (якості і шорсткості) для заготовки та деталі проводиться пошук всіх альтернативних схем обробки поверхні. Наприклад, якщо значення якості IT і шорсткості Ra поверхні заготовки (14, 6,3), що відповідає підмножині P_1 (див. рис. 3), необхідні значення IT , Ra поверхні деталі (9, 1,6) – підмножина R_7 , то існує чотири шляхи на графі $G(R, E)$ (див. рис. 6):

$$\Omega_1: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3;$$

$$\Omega_2: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_5;$$

$$\Omega_3: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4;$$

$$\Omega_4: R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4 \rightarrow R_5.$$

Їм відповідає чотири альтернативні схеми обробки такої поверхні.

Знання про можливі альтернативні схеми обробки поверхні подаються у вигляді експертних правил [9, 10]. Модель правила з використанням нечітких множин наведена нижче.

ЯКЩО *поверхня* := \langle тип поверхні \rangle ;

ТА *код поверхні* := \langle згідно з класифікатором \rangle ;

ТА *заготовка* := \langle тип заготовки i \rangle ;

ТА *множина значень шорсткості і якості (Ra, IT) поверхні заготовки* := $\{QG_{jk}\}$;

ТА *множина значень шорсткості і якості (Ra, IT) поверхні деталі* := $\{QG_{jk1}\}$;

ТО *можливі набори методів обробки* := $\{METH\}$,

де $\{QG_{jk}\}$ – чітка множина пар значень (Ra, IT) заготовки; $\{QG_{jk1}\}$ – чітка множина пар значень (Ra, IT) поверхні деталі, для яких формується правило; $METH = \{(\text{набір методів } 1, \mu_1), (\text{набір методів } 2, \mu_1), \dots, (\text{набір методів } n, \mu_n)\}$ – нечітка множина можливих наборів методів обробки. Якщо $\{METH\} = \emptyset$, то правило видаляється.

Експертне правило бази знань формується для кожної пари – підмножина значень шорсткості і якості поверхні заготовки P_i ; підмножина значень шорсткості й якості поверхні деталі P_j (рис. 3), які подано у вигляді наборів (підмножин) пар значень – (Ra, IT), наприклад $QG_{52} = \{(10;13), (10;12), (10;11), (6,3;13), (6,3;12), (6,3;11), (3,2;13), (3,2;12), (3,2;11), (2,5;13), (2,5;12), (2,5;11)\}$ (див. рис. 3). Процедура `GenerateOneRule` здійснює пошук шляхів на

Таблиця 2. Подання знань про альтернативні способи обробки зовнішніх циліндричних поверхонь заданого квалітету і шорсткості за допомогою функцій алгебри логіки (фрагмент)

Функція алгебри логіки	Двійковий булевий вектор (набір) \tilde{R}^n	Вага (норма вектора \tilde{R}^n)	Підмножина
$R_1 \wedge \neg R_2 \wedge \neg R_3 \wedge \neg R_4 \wedge \neg R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9$	100000000	1	$P_1 \circ z$
$R_1 \wedge R_2 \wedge \neg R_3 \wedge \neg R_4 \wedge \neg R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9$	110000000	2	P_2
...
$\neg R_1 \wedge \neg R_2 \wedge R_3 \wedge \neg R_4 \wedge R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9$	001010000	2	P_6
$\neg R_1 \wedge \neg R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9$	001110000	3	$P_7 \bullet d$
...
$\neg R_1 \wedge \neg R_2 \wedge \neg R_3 \wedge \neg R_4 \wedge \neg R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9$	000000010	1	P_{19}

графі $G(R, E)$, використовуючи подання підмножин P_i у вигляді функції алгебри логіки (ФАЛ) та двійкового булевого вектора (набору) \tilde{R}^n (табл. 2); \tilde{R}^n – вектор змінних R_1, R_n , що набувають значень $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ з множини $\{0, 1\}$. Вагою (нормою) вектора називається число його координат, що дорівнюють 1 [1], тобто $\|\tilde{R}^n\| \equiv \sum_{i=1}^n R_i$. Спосіб такого подання докладно описаний в [2, 3], у табл. 2 наведено приклади подання підмножин P_i у вигляді ФАЛ для зовнішніх циліндричних поверхонь. Вагою (нормою вектора \tilde{R}^n) є кількість альтернативних методів обробки поверхні для даної підмножини значень шорсткості й квалітету P_i .

Кожний альтернативний шлях на графі – це можлива схема обробки поверхні. Пошук шляхів на графі здійснюється процедурою Grafway програмного модуля Production_fuzzy_rules з використанням рекурсивного обходу “в глибину”.

Наприклад, якщо підмножина значень (Ra, IT) поверхні заготовки P_1 подана функцією алгебри логіки

$$R_1 \wedge \neg R_2 \wedge \neg R_3 \wedge \neg R_4 \wedge \neg R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9, \quad (1)$$

(булевий набір 100000000, див. табл. 2), підмножина значень (Ra, IT) поверхні деталі P_7 подана функцією алгебри логіки

$$\neg R_1 \wedge \neg R_2 \wedge R_3 \wedge \neg R_4 \wedge R_5 \wedge \neg R_6 \wedge \neg R_7 \wedge \neg R_8 \wedge \neg R_9, \quad (2)$$

(булевий набір 001110000, див. табл. 2), то виконуємо пошук всіх можливих шляхів з вер-

шини R_1 у вершину R_3 , потім – з вершини R_1 у вершину R_4 , далі – з вершини R_1 у вершину R_5 .

Для скорочення часу пошуку на графі $G(R, E)$ будемо виділяти підграфи $G_{rul}(U_{N_1-N_2})$ для формування кожного експертного правила.

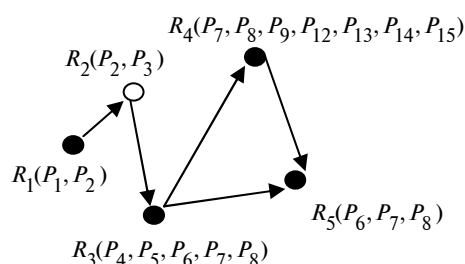


Рис. 7. Підграф $G_{rul}(U_{1-5})$

Таблиця 3. Матриця суміжності для підграфа $G_{rul}(U_{1-5})$

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
R_1	0	1	0	0	0
R_2	0	0	1	0	0
R_3	0	0	0	1	1
R_4	0	0	0	0	1
R_5	0	0	0	0	0

На рис. 7 наведено підграф $G_{rul}(U_{1-5})$. Множина $U_{N_1-N_2}$ включає всі вершини вихідного графа $G(R, E)$ з номерами від N_1 до N_2 , де N_1 – номер змінної без знака заперечення у ФАЛ (1) для підмножини значень (Ra, IT) поверхні заготовки або номер змінної, що дорівнює 1 у відповідному двійковому булевому

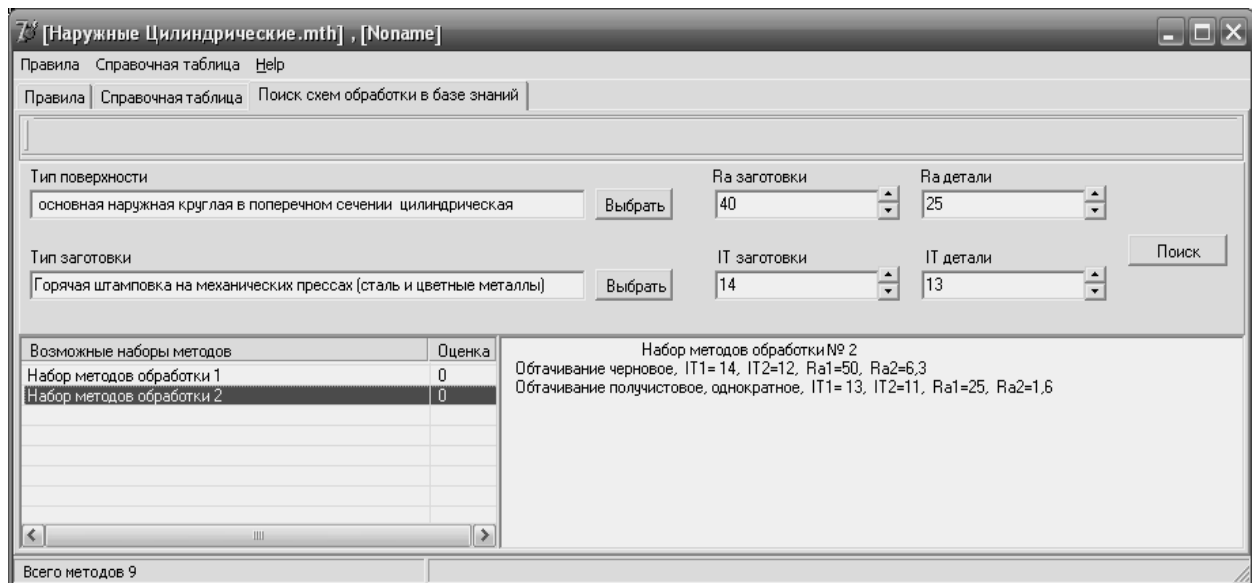


Рис. 8. Пошук альтернативних схем обробки заданої поверхні з використанням бази знань Production_Knowledge_Base

наборі (для нашого прикладу $N_1 = 1$); N_2 – номер змінної без знака заперечення у ФАЛ (2) для підмножини значень (Ra, IT) поверхні деталі або номер змінної, що дорівнює 1 у відповідному двійковому булевому наборі (для нашого прикладу $N_2 = 3, 4, 5$). Матриця суміжності для виділеного підграфа $G_{rul}(U_{1-5})$ наведена в табл. 3.

Кожний альтернативний шлях на підграфі – це схема обробки (набір методів k_{μ_k}) у множині {МЕТН} для даного правила. Для пошуку всіх можливих шляхів на виділеному підграфі можна використовувати різні алгоритми пошуку (модифікований хвильовий алгоритм, ітераційний алгоритм пошуку “в глибину”, рекурсивний пошук “в глибину”). У даній статті використовується рекурсивний алгоритм пошуку “в глибину” (dfs) на підграфах G_{rul} .

Прикладне значення даних досліджень полягає в тому, що за допомогою програмного модуля, розробленого на основі запропонованого методу, отримано графи послідовності застосування методів обробки зовнішніх циліндричних і плоских поверхонь корпусних деталей. Розроблений алгоритм використовується при автоматизованому заповненні експертних правил бази знань вибору методів обробки зовнішніх циліндричних, плоских корпусних поверхонь. У подальшому знання можна викори-

стовувати для формування наборів переходів і структурної оптимізації технологічного процесу при гнучкому багатоваріантному проектуванні ТП (рис. 8).

Висновки

Розроблена графова модель відображає можливість послідовного застосування методів обробки поверхні, дає можливість автоматизувати синтез схем обробки поверхні на рівні переходів при гнучкому багатоваріантному проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей. Запропонований алгоритм і програмний модуль дозволяє автоматизовано формувати матрицю суміжності графа. Алгоритм пошуку альтернативних методів обробки на підграфах отриманого графа з використанням рекурсивного алгоритму “в глибину” дозволяє скоротити час пошуку і вимоги до обчислювальних ресурсів. Практична цінність статті полягає в можливості формалізувати отримані знання про альтернативні схеми обробки поверхні у вигляді правил бази знань для подальшого використання при гнучкому багатоваріантному проектуванні технологічних процесів.

Надалі доцільно дослідити можливості застосування запропонованої моделі у вигляді графа послідовності застосування методів обробки поверхні для структурної оптимізації ТП з використанням алгоритму Дейкстра.

Л.С. Глоба, М.В. Лапа, И.М. Попова

СИНТЕЗ СХЕМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГИБКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрено формирование универсального множества всех возможных альтернативных схем обработки поверхностей различного типа путем построения модели в виде графа последовательности применения методов обработки каждого типа поверхности с учетом качества и шероховатости для автоматизированного формирования наборов переходов при гибком многовариантном проектировании технологических процессов изготовления деталей. Разработан алгоритм и программный инструмент для автоматизированного формирования матрицы смежности графа с использованием ГОСТ, технологических справочников, статистических данных.

L.S. Globa, M.V. Lapa, I.M. Popova

SCHEMATIC SYNTHESIS OF DETAIL PARTS SURFACING IN THE FLEXIBLE DESIGN OF PROCESSING PROCEDURES

The present paper addresses the approach for developing the universal set of all possible alternative machining schemes of various types of surfaces. This approach is based on modeling by the graph of the sequence of applying the machining methods for every type of the surface in view of the quality class and roughness for automated formation of conversion variants in the flexible multiple-choice design of detail parts production processes. On the experimental side, we develop the algorithm and software for graph adjacency matrix computing based on the State Standards of Ukraine, processing manuals and static data.

1. *Цветков В.Д.* Система автоматизации проектирования технологических процессов. — М.: Машиностроение, 1972. — 240 с.
2. *Гавриш А.П., Ефимов А.И.* Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства. — К.: Техника, 1982. — 216 с.
3. *Глоба Л.С., Остафьев В.А., Жданов Б.И.* Проектирование интеллектуальных компьютерных технологий для технологической подготовки производства. — К.: НАУКМА, 1996. — 198 с.
4. *Глоба Л.С.* Интеллектуальна комп'ютерна технологія конструкторсько-технологічної підготовки механо-оброблюючого виробництва: Дис. ... д-ра техн. наук. — К., 1996. — 304 с.
5. *Лапа М.В.* Интеллектуальный метод гибкого проектирования технологических процессов изготовления деталей приборов: Дис. ... канд. техн. наук. — К., 2004. — 181 с.
6. *Лапа М.В.* Алгоритм формирования нечетких экспертных правил для выбора методов обработки поверхностей деталей // Вест. Харьков. нац. ун-та. Сер. Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления. — 2006. — № 733. — С. 166—173.
7. *Лапа М.В.* Автоматизированное извлечение конструкторско-технологических знаний // Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. тр. — Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т. — 2006. — Вып. 33. — С. 121—126.
8. *Руденко П.О.* Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. — К.: Вища шк., 1993. — 413 с.
9. *Косилова А.Г., Мещеряков Р.К.* Справочник технолога машиностроителя: В 2-х томах. Т. 1. — М.: Машиностроение, 1985. — 655 с.
10. *ГОСТ 2789-73.* Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
11. *ГОСТ 25142-85.* Шероховатость поверхности. Термины и определения.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
24 жовтня 2008 року